Journal of Agricultural Machinery

Homepage: https://jame.um.ac.ir

Research Article
Vol. 12, No. 4, 2022, p. 575-585

Investigating the Effect of Increasing Nano Cellulose to Diesel Fuel on Emission and Performance of Internal Combustion Engine

A. Waismoradi[1], M. E. Khorasani Ferdavani[2*], H. Bahrami[3], S. M. Safieddin Ardebili[2], H. Zakidizaji[3]

1- PhD Student of Agricultural Mechanization, Department of Biosystem Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz and Member of PNU, Tehran, Iran
2- Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
3- Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
(*- Corresponding Author Email: e.khorasani@scu.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jam.2021.70608.1042

Received: 26-05-2021 Revised: 03-08-2021 Accepted: 23-08-2021 Available Online: 24-08-2021	**How to cite this article:** Waismoradi, A., Khorasani Ferdavani, M. E., Bahrami, H., Safieddin Ardebili, S. M., &. Zakidizaji, H. (2022). Investigating the Effect of Increasing Nano Cellulose to Diesel Fuel on Emission and Performance of Internal Combustion Engine. *Journal of Agricultural Machinery*, *12*(4), 575-585. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jam.2021.70608.1042

Introduction

Today, the number of diesel engines is increasing due to their high efficiency and low greenhouse gases. In the present study, the effect of adding nano cellulose as nanoparticles to diesel fuel on the performance parameters and emissions of diesel engine was investigated. Nano cellulose was provided by the Nano Novin Company in Sari. Nano cellulose values were considered at 3 levels of zero, 25 ppm and 75 ppm. Also, the tests were performed at 3 engine speed of 1600, 2000 and 2400 rpm in full load mode.

Materials and Methods

In this study, nanocellulose was used as nanoparticles to add to diesel and to evaluate the performance and emission parameters of the engine. To prevent the deposition of nano cellulose in diesel fuel, jelly type nano cellulose was used. The samples were named after adding different amounts of nano cellulose, abbreviated D100N0, D100N25 and D100N75. D100 means 100% pure diesel and N means different amounts of nano cellulose with different amounts. Ultrasound was used to obtain homogeneous samples. About 3 liters were prepared from each sample so that it could be used for at least 3 repetitions. The required tests were performed at three different speeds of 1600, 2000 and 2400 rpm in full load mode. The necessary equipment was used to measure the performance parameters and air emissions, including diesel engine connected to the dynamometer, emissions measuring device, fuel system and control room (to apply the load and provide conditions for each treatment and data collection). The air-cooled, four-stroke, compression-ignition single-cylinder engine made by the Italian company Lombardini was used. The D400 eddy current dynamometer made in Germany was used. The ability to measure power by this dynamometer is a maximum of 21 hp, a maximum speed of 10,000 rpm and a maximum torque of 80 N.m. To measure of emissions, the MAHA MGT5 emissions meter was used. This device is able to measure the values of CO, CO_2, NO_X, O_2 and UHC.

Results and Discussion

The results showed that increasing engine speed in all fuel combinations increased engine power, specific fuel consumption, carbon monoxide and unburned hydrocarbons and decreased torque. Also, increasing the amount of nano cellulose per engine speed increased the amount of power and torque, but reduced the specific fuel consumption, carbon monoxide and unburned hydrocarbons. The amount of NO_X increased with increasing engine speed, but at each engine speed the addition of 25 ppm nanocellulose to pure diesel significantly increased the amount of NO_X. But at low speed, increasing 75 ppm nanocellulose to pure diesel reduced the amount of NO_X.

Conclusion

The results of this study showed that the addition of nano cellulose as nanoparticles can improve the performance of diesel engines and also reduce the amount of emissions gases emitted from the engine. The

results also showed that increasing 25ppm nanocellulose had a greater effect on engine performance. But to reduce the amount of emissions, 75 ppm nanocellulose was better.

Keywords: Diesel engine, Nanocellulose, Nitrogen oxides, Power

نشریه ماشین‌های کشاورزی
https://jame.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۱۲، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱، ص ۵۸۵-۵۷۵

بررسی تأثیر افزودن نانوسلولز به سوخت دیزل بر عملکرد و آلایندگی موتور احتراق داخلی

امین ویسمرادی[۱]، محمد اسماعیل خراسانی فردوانی[۲]*، هوشنگ بهرامی[۳]، سید محمد صفی الدین اردبیلی[۲]، حسن ذکی دیزجی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۱

چکیده

امروزه تعداد موتورهای دیزل به دلیل داشتن بازده زیاد و تولید گازهای گلخانه ای کم، در حال افزایش است. در پژوهش حاضر تأثیر افزودن نانوسلولز به سوخت دیزل بر پارامترهای عملکردی و آلایندگی موتور دیزل مورد ارزیابی قرار گرفت. مقادیر نانوسلولز در ۳ سطح صفر و ۲۵ppm و ۷۵ppm در نظرگرفته شد. آزمون‌های موتور در ۳ دور موتور ۱۶۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۴۰۰ دور بر دقیقه در حالت بار کامل انجام گرفت. به منظور اندازه‌گیری پارامترهای عملکردی و آلایندگی موتور، از تجهیزات مختلفی شامل دینامومتر، دستگاه اندازه‌گیری آلاینده‌ها و سیستم کنترل موتور استفاده شد. نتایج نشان داد که افزایش دور موتور در تمام ترکیب‌های سوختی باعث افزایش در توان موتور، مصرف سوخت ویژه، مونواکسیدکربن، هیدروکربن‌های نسوخته ولی مقدار گشتاور موتور، کاهش یافت. همچنین در هر دور موتور افزودن مقادیر مختلف نانوسلولز، مقدار توان و گشتاور موتور را افزایش داد، اما باعث کاهش مصرف سوخت ویژه، مونواکسیدکربن و هیدروکربن‌های نسوخته شد. مقدار NO_X با افزایش دور موتور افزایش یافت ولی در هر دور موتور افزودن ۲۵ppm نانوسلولز به دیزل خالص به میزان قابل‌توجهی مقدار NO_X را افزایش داد. اما در دورهای پایین، افزایش ۷۵ppm نانوسلولز به دیزل خالص باعث کاهش مقدار NO_X نسبت به دیزل خالص شد، اگرچه از لحاظ آماری معنی‌دار نیست. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که افزودن نانوسلولز به سوخت دیزل می تواند سبب بهبود عملکرد و کاهش گازهای آلاینده خروجی از موتور دیزل شود. اگر چه افزودن ۲۵ppm نانوسلولز به دیزل خالص به میزان قابل‌توجهی مقدار NO_X را افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: اکسیدهای نیتروژن، توان، موتور دیزل، نانوسلولز

مقدمه

در میان تمام منابع انرژی، سوخت‌های فسیلی نقش مهمی در تولید انرژی دارند که تقریباً مصرف آن‌ها در هر سال ۲ درصد افزایش می‌یابد (Foster *et al.*, 2017). استفاده گسترده از موتورهای دیزلی به دلیل بهره‌وری و دوام بالا، باعث افزایش انتشار کربن و دیگر آلاینده‌ها می‌شود و در نهایت سلامتی جامعه را به خطر می‌اندازد (Geng, Cao, Tan, & Wei, 2017). با توجه به اثراتی که سوخت‌های فسیلی در اثر استفاده مداوم و رو به رشد آن‌ها، بر اقلیم دارند، محققان درصدد گزینه‌هایی هستند که ضرر استفاده از سوخت‌های فسیلی در موتورهای احتراق داخلی به اکوسیستم کمتر شود و از طرفی دیگر باعث افزایش عملکرد آن‌ها شوند (Nair, Kaviti, & Daram, 2017).

تحقیقات زیادی در مورد استفاده از ترکیب سوخت‌های دیزل و نانو افزودنی‌های مختلف در جهت بهبود عملکرد و کاهش آلاینده‌های موتورهای احتراق داخلی صورت گرفته است. نتایج به‌دست آمده حاکی از آن است که نانو افزودنی‌ها سرعت سوختن سوخت در محفظه احتراق را افزایش می‌دهند و به‌عنوان یک عامل اکسیداسیون‌کننده عمل می‌کنند و اکسیژن را برای اکسیداسیون مونواکسیدکربن فراهم کرده و باعث جذب اکسیژن در جهت کاستن مقدار اکسیدهای نیتروژن می‌شوند (Devaraj, Arul Prakasajothi, & Rajesh, 2017). نانوافزودنی‌ها را به‌صورت کلی می‌توان در گروه‌های مختلف مانند اکسید فلزات، فلزات و نانولوله‌های کربنی[۴] و مواد دیگر مانند گرافن[۵] طبقه‌بندی کرد (Singh & Sharma, 2015). در تحقیقات انجام گرفته توسط محققانی مانند

۱- دانشجوی دکتری مکانیزاسیون کشاورزی، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شهید چمران اهواز و عضو دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
۲- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۳- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
(*نویسنده مسئول: Email: e.khorasani@scu.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jam.2021.70608.1042

4- Carbon nanotubes
5- Graphene

(Joshua, 2016; Naik & Kumar, 2018; Ramesh *et al.*, 2018; Prasada Rao, Victor Babu, Anuradha, & Appa Rao, 2017; Devi, 2018) از نانوافزودنی‌های فلزی مختلف جهت بهبود شاخص‌های عملکردی موتور استفاده کرده‌اند. اما اخیراً توجه محققان به مواد غیرفلزی به‌عنوان نانوافزودنی جلب شده است. در تحقیقات مختلف بر روی موتور جهت بررسی شاخص‌های عملکردی و آلایندگی موتور محققانی مانند (Mirbagheri, Safieddin Ardebili, & Kiani Deh Kiani, 2020; Ghafori *et al.*, 2015; Hosseini, Taghizadehalisaraei, Ghobadian, & Abbaszadeh mayvan, 2017) از مواد غیر فلزی به‌عنوان نانوافزودنی استفاده کردند. در تحقیقی، مدل‌سازی اثرات نانولوله‌های کربن اضافه شده به مخلوط سوخت دیزل- بیودیزل بر عملکرد و آلایندگی یک موتور دیزل با استفاده از شبکه عصبی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که مصرف سوخت ویژه موتور و آلاینده‌های مونواکسیدکربن و هیدروکربن‌های نسوخته به‌ترتیب به میزان ۳/۶۷، ۶۵/۷۰ و ۴۴/۹۸ درصد کاهش می‌یابد در حالی‌که میزان اکسیدهای نیتروژن ۲۷/۴۹ درصد افزایش یافت (Hosseini *et al.*, 2017). در بررسی اثر نانولوله‌های چند دیواره کربن در هنگام استفاده از سوخت ترکیبی دیزل- بیودیزل مشاهده شد که بیشترین میزان قدرت و گشتاور در بیودیزل ۲۰ درصد و ۳۰ppm نانو لوله‌های کربن بود که مقدار قدرت ۱۷٪ و مقدار گشتاور ۱۸٪ نسبت به دیزل رایج بیشتر بود (Ghafori *et al.*, 2015). در یک پژوهش اثر افزایش نانوبیوچار[1] به ترکیب اتانول، بیودیزل و دیزل در یک موتور دیزل مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش نانوبیوچار مقدار مصرف سوخت ویژه حدود ۳٪ کاهش و توان ترمزی موتور ۱۱/۷٪ افزایش یافت. همچنین آلاینده‌های NO_X، CO و UHC به‌ترتیب ۱۵٪، ۰/۰۳٪ و ۲۸٪ کاهش یافتند (Mirbagheri *et al.*, 2020).

سلولز یکی از فراوان‌ترین و پر استفاده‌ترین مواد طبیعی غیر فلزی در جهان است که به‌عنوان یک ماده خام تجدیدپذیر و فراوان، در توسعه مواد جدید در حال تبدیل شدن به یک منبع اقتصادی جدید است. محققان توجه زیادی به تولید و بهره‌برداری از نانوسلولز درکاربردهای مختلف پرداخته‌اند. در حال حاضر نانوسلولز پتانسیل بالایی برای کاربرد در بسیاری از زمینه‌ها مانند صنایع الکترونیکی، غذایی، گاز و نفت، کاغذ، خودروسازی، فضایی و دفاعی و محصولات بهداشتی و سلامت دارد (Ojala, Sirviö, & Liimatainen, 2016). نانوسلولز، متشکل از فیبرهای سلولز با ابعاد نانو است، که نوعاً دارای ابعاد عرضی ۲۰-۵ نانومتر و ابعاد طولی در محدوده گسترده‌ای از ده‌ها نانومتر تا چند میکرون است (Lima & Brosali, 2004 ; Klemm *et al.*, 2011). با توجه به تحقیقات صورت گرفته در سال‌های اخیر و استفاده از نانوافزودنی‌های غیر فلزی، تاکنون در هیچ تحقیقی از نانوسلولز بررسی بهبود عملکرد موتور انجام نشده است که هدف اصلی این تحقیق بررسی نقش نانوسلولز در ترکیب با دیزل بر عملکرد و آلایندگی موتور است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از نانوسلولز در سه سطح صفر، ۲۵ppm و ۷۵ppm به‌عنوان یک افزودنی گیاهی جهت افزودن به سوخت دیزل و بررسی شاخص‌های عملکردی و آلایندگی موتور استفاده شد. نانوسلولز مورد نیاز از شرکت دانش بنیان نانونوین مستقر در شهر ساری استان مازندران تهیه شد. جهت جلوگیری از تەنشین شدن نانوسلولز در سوخت دیزل، از نانوسلولز نوع ژله‌ای استفاده شد. شکل شماره ۱ تصویری از نانوسلولز ژله‌ای را نشان می‌دهد که توسط میکروسکوپ الکترونیکی گرفته شده است.

نمونه سوخت دیزل مورد آزمایش بعد از اضافه کردن مقادیر مختلف نانوسلولز به آن، با علائم اختصاری $D_{100}N_0$، $D_{100}N_{25}$ و $D_{100}N_{75}$ نام گذاری شد. D به معنی دیزل خالص و N با مقادیر مختلف به معنی مقدار نانوسلولز اضافه شده به سوخت می‌باشد. از دستگاه فراصوت[2] جهت به‌دست آوردن نمونه‌های همگن استفاده شد. آزمون‌های مورد نیاز در یک موتور تک سیلندر هواخنک، چهار زمانه، اشتعال تراکمی ساخت شرکت لمباردینی[3] ایتالیا و در سه سرعت مختلف ۱۶۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۴۰۰ دور بر دقیقه و در حالت تمام بار[4] در ۳ تکرار انجام شد.

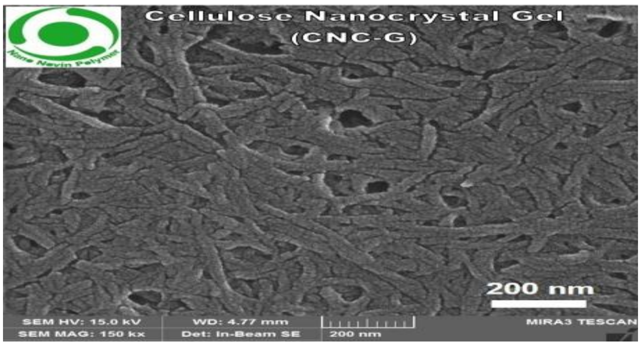
تجهیزات آزمون موتور

این پژوهش در آزمایشگاه بخش انرژی‌های تجدیدپذیر دانشگاه تربیت مدرس انجام گرفت. در این پژوهش به منظور اندازه‌گیری پارامترهای عملکردی و آلایندگی موتور، از تجهیزات مختلفی شامل دینامومتر، دستگاه اندازه‌گیری آلاینده‌ها و سیستم کنترل موتور (تنظیم بار و سرعت موتور و کنترل شرایط آزمون و ثبت داده‌های آزمایشگاهی) استفاده شد. برای بارگذاری موتور از دینامومتر جریان گردابی[5] مدل D400 ساخت کشور آلمان استفاده شد. قابلیت اندازه‌گیری توان توسط این دینامومتر حداکثر ۲۱ اسب بخار، حداکثر دور ۱۰۰۰۰ دور بر دقیقه و حداکثر گشتاور ۸۰ نیوتن‌متر می‌باشد. برای اندازه‌گیری میزان آلایندگی، از دستگاه آلاینده‌سنج MAHA MGT5 استفاده شد. این دستگاه قادر به اندازه‌گیری مقادیر مونو اکسیدکربن CO، دی‌اکسید کربن CO_2، اکسیدهای نیتروژن NO_x و

1- Nano-biochar

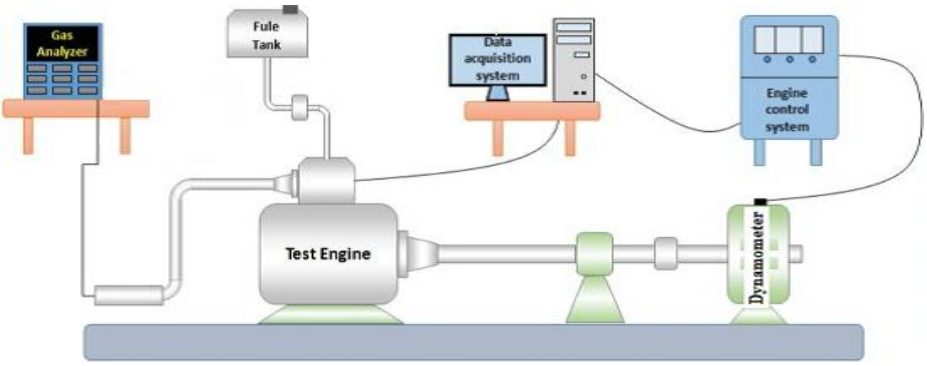
2- Ultrasonic
3- Lombardini
4- Full load
5- Eddy Current

هیدروکربن‌های نسوخته UHC می‌باشد. شکل ۲ طرحواره تجهیـزات مورد استفاده را نشان می‌دهد.



شکل ۱- تصویربرداری نانوسلولز ژله‌ای توسط میکروسکوب الکترونیکی

Fig. 1. Imaging of jelly Nanocellulose by Electronic Microscope



شکل ۲- تجهیزات مورد استفاده برای آزمون موتور

Fig. 2. Used instruments for engine testing (Hoseini, Najafi, Ghobadian, Yusaf, & Ebadi, 2018)

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر مقادیر نانوسلولز و دور موتور بر پارامترهای عملکردی موتور

Table 1-Variance analysis of engine speed and nanocellulose values on engine performance parameters

منابع تغییرات Sources of variation	میانگین مربعات توان موتور Mean squares of engine power	میانگین مربعات گشتاور موتور Mean squares of engine torque	میانگین مربعات مصرف سوخت ویژه موتور Mean squares of engine specific fuel consumption
مقدار نانوسلولز Nanocellulose values	0.435**	8.253**	7495.368**
دور موتور Engine speed	1.061**	23.426**	8770.169**
اثر متقابل Interaction	0.018**	0.746**	91.589 ns
خطای آزمایشی Error	0.004	0.073	63.111

ns غیر معنی‌دار و ** معنی‌دار در سطح ۱٪ ns unsignificant and ** Significant at 1% level.

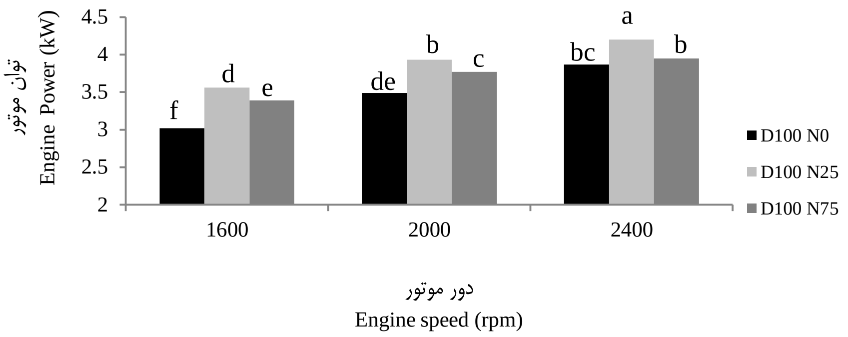
نتایج و بحث

در این بخش نتایج اندازه‌گیری متغیرهای عملکردی و آلاینـدگی موتور شامل توان ترمـزی، گشـتاور، مصـرف سـوخت ویـژه ترمـزی، مونواکسیدکربن، هیدروکربن‌های نسـوخته و اکسـیدهای نیتـروژن در دورهای مختلف موتور و ترکیب‌های مختلف نانوسلولز و سوخت دیزل ارائه شده‌اند. در این تحقیق آزمـایش فاکتوریـل بـا ۲ فـاکتور (مقـدار نانوسلولز و دور موتور) و هر فاکتور در ۳ سطح بر پایه طرح کرت‌های کاملاً تصادفی[1] در سه تکرار مورد استفاده قرار گرفت. جدول ۱ تجزیه

1- Completely Randomized Design (CRD)

واریانس پارامترهای عملکردی موتور را نشان می‌دهد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر نانوسلولز و دور موتور بر میزان توان، گشتاور و مصرف سوخت ویژه موتور در سطح ۱درصد معنی‌دار می‌باشند ولی اثر متقابل آن‌ها فقط بر توان و گشتاور موتور معنی‌دار است. تغییرات توان موتور در ترکیب‌های مختلف نانوسلولز و سوخت دیزل در دورهای مختلف و مقایسه میانگین آن‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است که حروف مشابه به معنی عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد. با توجه به شکل ۳ با افزایش دور موتور توان موتور در تمام حالت‌های مختلف ترکیب سوخت افزایش یافت.



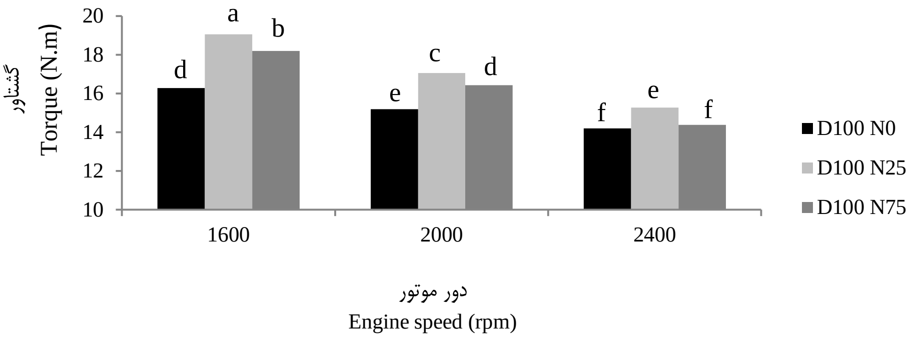
شکل ۳- رابطه دور و توان موتور در ترکیب‌های مختلف نانوسلولز و دیزل

Fig.3. Relationship between engine speed and power in different combinations of nanocellulose and diesel

در مقایسه با دیزل خالص، افزودن ۲۵ppm نانوسلولز سبب افزایش ۱۷/۸۸٪، ۱۲/۶۰٪ و ۸/۵۲٪ در دورهای ۱۶۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۴۰۰ توان موتور شد. ولی افزودن ۷۵ppm نانوسلولز به دیزل خالص در دورهای ۱۶۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۴۰۰ به‌ترتیب ۱۲/۲۵٪، ۸/۰۲٪ و ۲/۰۶٪ توان موتور را افزایش داد. همچنین مشاهده شد که در هر دو حالت افزودن ۲۵ppm و ۷۵ppm نانوسلولز، تغییرات توان در دورهای پایین نسبت به دورهای بالاتر بیشتر بود. افزایش توان موتور بعد از افزودن نانوسلولز می‌تواند به این دلیل باشد که از یک طرف نانوسلولز باعث اختلاط بهتر سوخت و هوا به دلیل افزایش سطح تماس بین هوا و سوخت می‌شود و از طرف دیگر وجود گروه‌های عاملی اکسیژن‌دار در ساختار نانوسلولز با فرمول $(C_6H_{10}O_5)_n$، کمبود اکسیژن در محفظه احتراق جبران می‌گردد و در نهایت باعث افزایش فشار اندیکاتوری در محفظه احتراق می‌شود. این نتایج توسط محققانی مانند (Mirzajanzadeh *et al*., 2015; Chandrasekaran, Arthanarisamy, Nachiappan, Dhanakotti, & Moorthy, 2016; Hoseini *et al*., 2020) نیز گزارش شده است. اما دلیل کمتر بودن تأثیر مقدار ۷۵ppm نانوسلولز در افزایش توان می‌تواند جذب گرمای بیشتر هنگام افزودن ۷۵ppm نانوسلولز به سوخت دیزل نسبت به ۲۵ppm نانوسلولز باشد. زیرا وجود پیوندهای هیدروژنی در ساختار نانوسلولز موجب جذب شدن گرمای زیاد جهت شکستن این پیوندها و سوختن نانوسلولز می‌شود (Kord & Rohani, 2016).

تغییرات گشتاور موتور در ترکیب‌های مختلف دیزل و نانوسلولز در دورهای مختلف موتور و مقایسه میانگین آن‌ها در شکل ۴ نشان داده شده است که حروف مشابه به معنی عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد. با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود که با افزایش دور موتور، گشتاور آن کاهش یافت. این افت گشتاور به دلیل پر شدن ناقص سیلندر موتور در مرحله مکش و کاهش بازده حجمی موتور در سرعت بالاتر می‌باشد. از آن‌جایی که زمان کافی برای دریافت هوا و افزایش فشار در داخل سیلندر وجود ندارد، فشار در محفظه احتراق کاهش می‌یابد که این به نوبه خود باعث افزایش اینرسی قطعات متحرک موتور شده و در نتیجه گشتاور موتور را کاهش می‌دهد.

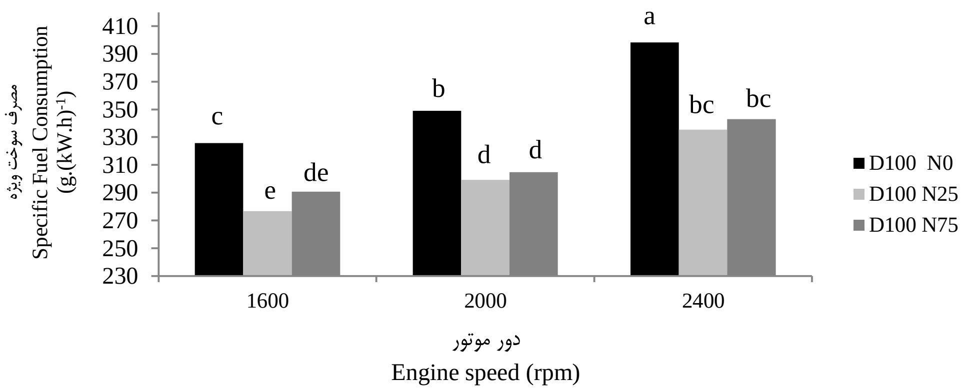
در هر دور مورد آزمون، افزودن نانوسلولز به سوخت دیزل باعث افزایش مقدار گشتاور موتور در هر دو مقدار ۲۵ppm و ۷۵ppm نانوسلولز شد. افزایش گشتاور موتور در حالت ۲۵ ppm نانوسلولز و سوخت دیزل نسبت به سوخت دیزل خالص به‌ترتیب در ۱۶۰۰، ۲۰۰۰ و۲۴۰۰ دور در دقیقه ۱۷٪، ۱۲٪ و ۷٪ بود. میزان گشتاور موتور در دورهای مختلف، هنگام افزودن ۷۵ ppm نانوسلولز به سوخت دیزل رایج نسبت به ترکیب سوخت دیزل و ۲۵ ppm نانوسلولز کمی کاهش یافت. میزان گشتاور موتور در حالت ۷۵ ppm نانوسلولز و سوخت دیزل نسبت به سوخت دیزل خالص به‌ترتیب در ۱۶۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۴۰۰ دور در دقیقه، ۱۱/۷۰٪ ، ۸٪ و ۱/۲۵٪ افزایش یافت. دلیل زیادتر شدن گشتاور، با افزودن نانوسلولز، افزایش نسبت سطح به حجم نانوافزودنی است که باعث افزایش انرژی تولید شده در داخل محفظه احتراق موتور شده و در نتیجه باعث افزایش گشتاور موتور در هر دور مورد آزمون می‌شود.



شکل ٤- رابطه دور و گشتاور موتور در ترکیب‌های مختلف نانوسلولز و دیزل

Fig.4. Relationship between engine speed and torque in different combinations of nanocellulose and diesel

نتایج به‌دست آمده در این قسمت با نتایج حیدری مالنی و همکاران (Heidari-Maleni, Gundoshmian, Karimi, Jahanbakhshi, & Ghobadian, 2020) مشابه است. شکل ۵ رابطه دور و مصرف سوخت ویژه موتور و مقایسه میانگین آن‌ها در ترکیب‌های مختلف نانوسلولز و دیزل را نشان می‌دهد که حروف مشابه به معنی عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد. با افزایش دور موتور، مقدار مصرف سوخت ویژه در تمام ترکیب‌های سوخت (حتی سوخت دیزل) افزایش یافت. با افزودن مقادیر ۲۵ppm و ۷۵ppm نانوسلولز به دیزل خالص به‌طور چشمگیری مقدار مصرف سوخت ویژه را در هر دور موتور نسبت به سوخت دیزل، کاهش داد. مقدار کاهش مصرف سوخت ویژه با افزودن ppm ۲۵ نانوسلولز به سوخت دیزل، نسبت به دیزل خالص، در ۱۶۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۴۰۰ دور بر دقیقه، به‌ترتیب ۱۵/۰۳٪، ۱۴/۲۶٪ و ۱۶/۵۳٪ بود. این کاهش برای سوخت‌های حاوی ۷۵ppm نانوسلولز، نسبت به دیزل خالص به‌ترتیب، ۱۰/۷۶٪، ۱۲/۶۶٪ و ۱۳/۹۰٪ بود. یکی از دلایل مقدار کاهش مصرف سوخت ویژه می‌تواند وجود مقدار اکسیژن در ترکیب نانوسلولز باشد که باعث بهبود فرایند احتراق می‌شود. دلیل دیگر کاهش مصرف سوخت ویژه، در هنگام افزودن نانوسلولز افزایش نسبت سطح به حجم نانوافزودنی است که باعث افزایش انرژی تولیدشده در داخل محفظه احتراق موتور شده و در نتیجه باعث کاهش مصرف سوخت ویژه موتور می‌شود.



شکل ۵- رابطه دور موتور و مصرف سوخت ویژه موتور در ترکیب‌های مختلف نانوسلولز و دیزل

Fig.5. Relationship between engine speed and specific fuel consumption in different combinations of nanocellulose and diesel

جدول ۲ تجزیه واریانس پارامترهای آلایندگی موتور را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۲ مقادیر نانوسلولز و دور موتور و اثر متقابل آن‌ها بر CO، UHC و NO_x در سطح ۱٪ معنی‌دار است. تغییرات CO نسبت به تغییر دور موتور و مقادیر مختلف نانوسلولز و مقایسه میانگین آن‌ها در شکل ۶ نشان داده شده است که حروف مشابه به معنی عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

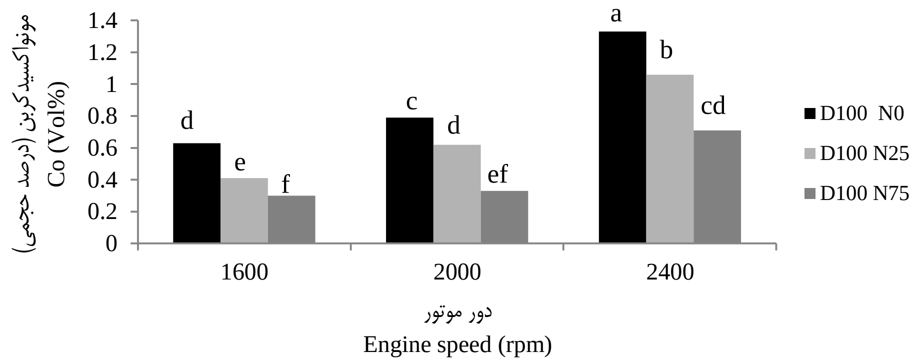
جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر مقادیر نانوسلولز و دور موتور بر پارامترهای آلایندگی موتور

Table 2-Variance analysis of engine speed and nanocellulose values on engine emission parameters

منابع تغییرات **Sources of variation**	میانگین مربعات مونواکسیدکربن **Mean squares of carbon monoxid**	میانگین مربعات هیدروکربن‌های نسوخته **Mean squares of Unburned hydrocarbons**	میانگین مربعات مصرف اکسیدهای نیتروژن **Mean squares of Nitrogen oxides**
مقدار نانوسلولز Nanocellulose values	0.495**	13300.259**	7495.368**
دور موتور Engine speed	0.858**	8062.259**	7200.333**
اثر متقابل Interaction	0.019**	849.204**	10.794**
خطای آزمایشی Error	0.002	37.630	63.111

** معنی‌دار در سطح ۱٪ ** Significant at 1% level.

با توجه به شکل ۶ با افزایش دور موتور در تمام ترکیب‌های سوخت مقدار CO به دلیل کاهش بازده حجمی موتور و زمان لازم جهت انجام احتراق افزایش یافت. از طرف دیگر، با افزودن مقادیر مختلف نانوسلولز به سوخت دیزل در هر دور موتور میزان CO به دلیل افزایش مقدار اکسیژن در فرایند احتراق کاهش یافت. نسبت به سوخت دیزل خالص، مقدار آلاینده CO با افزودن ۲۵ppm نانوسلولز به دیزل خالص در ۱۶۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۴۰۰ دور بر دقیقه به‌ترتیب به میزان ۳۵٪، ۲۱/۴۹٪ و ۲۰/۳۰٪ کاهش یافت. همچنین افزودن ۷۵ ppm نانوسلولز به دیزل رایج در دورهای مذکور به‌ترتیب ۵۲/۳۸٪، ۵۸/۲۲٪ و ۴۶/۶۱٪ میزان CO را کاهش داد. زمانی که موتور در بار کامل کار می‌کند، مقدار سوخت بیشتری توسط پمپ انژکتور تزریق می‌شود. اگر زمان احتراق، اکسیژن به مقدار کافی برای تبدیل همه کربن‌ها به دی‌اکسیدکربن (CO_2) وجود نداشته باشد، احتراق به‌طور کامل انجام نمی‌گیرد و باعث افزایش مقدار CO می‌شود (Tan, Hu, & Lou, 2009; Meng & Niu, 2011). از دلایل کاهش مقدار CO، می‌توان به وجود اکسیژن در ساختار نانوسلولز اشاره کرد که در نهایت می‌تواند به بهبود فرایند احتراق کمک کند. افزودن مقدار ۷۵ ppm نانوسلولز نسبت به ۲۵ ppm نانوسلولز به سوخت دیزل، به علت داشتن سطح بیشتر، باعث اختلاط بهتر سوخت دیزل و هوای ورودی به موتور می‌شود و در نتیجه تاخیر در اشتعال را کاهش می‌دهد و باعث بهبود احتراق و کاهش CO می‌شود (Hoseini *et al.*, 2020).

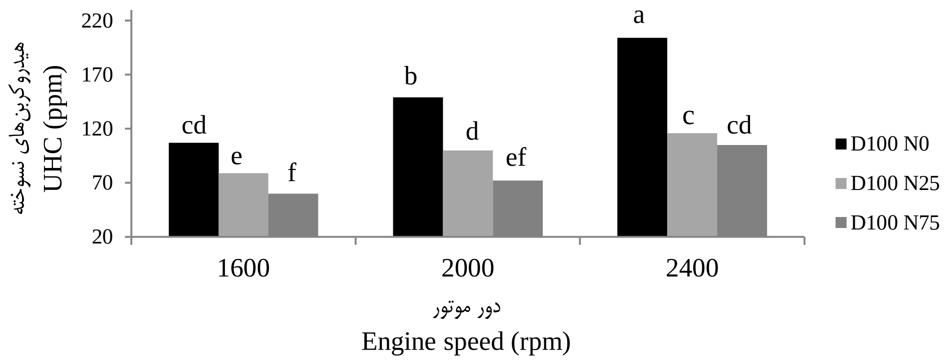


شکل ٦- رابطه دور موتور و مونواکسیدکربن در ترکیب‌های مختلف نانوسلولز و دیزل

Fig.6. Relationship between engine speed and carbon monoxid in different combinations of nanocellulose and diesel

تغییرات هیدروکربن‌های نسوخته (UHC) نسبت به تغییرات دور موتور و مقادیر نانوسلولز و مقایسه میانگین آن‌ها در شکل ۷ نشان داده شده است که حروف مشابه به معنی عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد. با توجه به شکل ۷ با افزایش دور موتور در تمام ترکیب‌های سوخت مقدار UHC افزایش یافت. با افزودن مقادیر مختلف نانوسلولز به سوخت دیزل در هر دور موتور، میزان UHC کاهش یافت. مقدار کاهش UHC در ۱۶۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۴۰۰ دور بر دقیقه با افزودن ۲۵ppm نانوسلولز به دیزل خالص به‌ترتیب، ۲۶/۱۶٪، ۳۲/۸۸٪ و

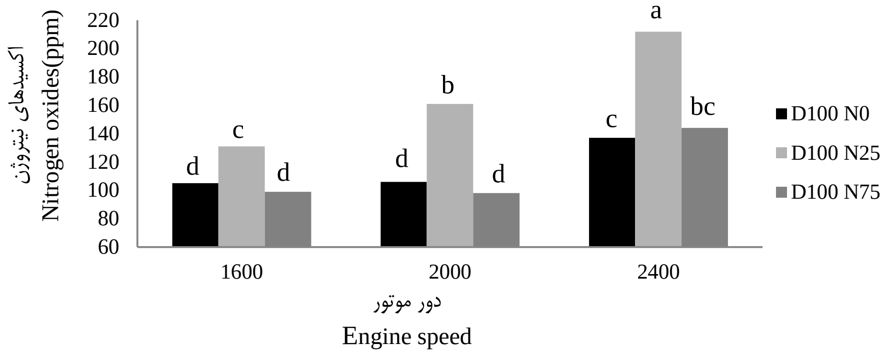
۴۶/۱۳٪ بود. این در حالی است مقادیر کاهش UHC با افزودن ۷۵ppm نانوسلولز به دیزل خالص در دورهای مذکور به‌ترتیب، ۴۳/۹۲٪، ۵۱/۶۷٪ و ۴۸/۵۲٪ بود. با توجه به مقادیر کاهش UHC در دورهای مختلف موتور و مقادیر متفاوت نانوسلولز می‌توان نتیجه گرفت که در دورهای بالاتر افزایش مقدار بیشتر نانوسلولز خیلی تأثیری بر کاهش مقدار UHC ندارد. در گازهای خروجی از اگزوز موتور وجود UHC به معنی این است که احتراق کامل صورت نگرفته است و وجود این نوع آلاینده در حالت کلی به نوع سوخت، دمای احتراق، طراحی ساختمان موتور و مقدار اکسیژن موجود در ساختار سوخت بستگی دارد (Sayin, 2010). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که وجود اکسیژن در نانوسلولز می‌تواند دلیل بهبود احتراق در موتور باشد و مقدار UHC کاهش دهد. تغییرات اکسیدهای نیتروژن (NO_X) نسبت به تغییرات دور و مقادیر مختلف نانوسلولز و مقایسه میانگین آن‌ها در شکل ۸ نشان داده شده است که حروف مشابه به معنی عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود روند منظمی در این نمودار وجود ندارد. مقدار آلاینده NO_X با افزودن ۲۵ppm نانوسلولز به دیزل خالص در ۱۶۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۴۰۰ دور بر دقیقه به‌ترتیب ۲۴/۷۶٪، ۵۱/۸۸٪ و ۵۴/۷۴٪ افزایش داشت.



شکل ۷- رابطه دور موتور و هیدروکربن‌های نسوخته در ترکیب‌های مختلف نانوسلولز و دیزل

Fig.7. Relationship between engine speed and unburned hydrocarbons in different combinations of nanocellulose and diesel

مقدار این آلاینده با افزودن ۷۵ppm نانوسلولز به دیزل خالص در دورهای ۱۶۰۰ و ۲۰۰۰ به‌ترتیب ۵/۷۱٪، ۷/۵۴٪ نسبت به دیزل خالص کاهش داشت اما در ۲۴۰۰ دو در دقیقه ۵/۱۰٪ افزایش را نشان داد. مقدار NO_X در یک موتور به عواملی مانند نسبت تراکم، مقدار اکسیژن موجود در ترکیب سوخت، دمای محفظه احتراق و زمان لازم برای احتراق ترکیب سوخت در درون سیلندر بستگی دارد (Hoseini *et al.*, 2020). در دورهای بالای موتور زمان کافی برای ورود هوا به سیلندر وجود ندارد بنابراین نسبت هوا به سوخت کاهش می‌یابد. این کاهش می‌تواند سبب احتراق ناقص و افزایش دمای محفظه احتراق شود. در نتیجه افزایش دما در محفظه احتراق باعث تشکیل NO_X بیشتر در موتور می‌شود. با افزایش دور موتور از ۱۶۰۰ به ۲۰۰۰ دور بر دقیقه در هنگام مصرف دیزل خالص تقریبا مقدار NO_X یکسان است. حتی در هنگام افزودن ۷۵ppm نانوسلولز به دیزل خالص مقدار NO_X با تغییر دور از ۱۶۰۰ به ۲۰۰۰ دور بر دقیقه روندی کاهشی دارد به طوری که مقدار NO_X در این دو دور حتی کمتر از میزان دیزل خالص است اگرچه از لحاظ آماری معنی‌دار نیست و دلیل آن نقش نانوسلولز از نوع ژله‌ای است که در ساختار آن مقداری آب وجود دارد که این آب باعث کاهش مقدار دما در محفظه احتراق می‌شود. اما با ۲۵ppm نانوسلولز به دیزل خالص روندی افزایشی در تمام دورها به‌صورت چشمگیر مشاهده شد. در سرعت ۲۴۰۰ دور بر دقیقه مقدار اکسیدهای نیتروژن برای سوخت دیزل حاوی مقادیر مختلف نانوسلولز نسبت به سوخت دیزل خالص، افزایش را نشان داد. افزودن نانوافزودنی‌ها به سوخت دیزل باعث بهبود احتراق در موتور و افزایش دمای محفظه احتراق می‌شود و در نهایت باعث بیشتر شدن مقدار NO_X می‌شود (Arul Mozhi Selvan, Anand, & Udayakumar, 2014). از دیگر دلایل احتمالی می‌توان به مقدار گرمای جذب شده توسط نانوسلولز در فرایند احتراق اشاره کرد. در غلظت پایین نانوسلولز گرمای کمتری از محیط به‌وسیله آن جذب می‌شود و انرژی آزاد شده بیشتری در محفظه احتراق به‌وجود می‌آید و توان افزایش یابد. به همین دلیل است که نسبت ۲۵ ppm سبب افزایش NO_X شده است در حالی که در ۷۵ ppm نانوسلولز سبب کاهش NO_X می‌شود.



شکل ۸- رابطه دور موتور و اکسیدهای نیتروژن در ترکیب‌های مختلف نانوسلولز و دیزل

Fig.8. Relationship between engine speed and nitrogen oxides in different combinations of nanocellulose and diesel

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که افزودن نانوسلولز به سوخت دیزل می‌تواند سبب بهبود عملکرد و کاهش گازهای آلاینده خروجی از موتور دیزل شود. بررسی مقادیر مختلف نانوسلولز نیز نشان داد که استفاده از نسبت ۲۵ ppm نسبت به ۷۵ ppm در افزایش عملکرد موتور موثر است. از طرف دیگر، مقدار ۷۵ ppm نانوسلولز کاهش قابل‌توجه در گازهای آلاینده خروجی را به دنبال داشت.

سپاسگزاری

از معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز بابت حمایت مالی از این پژوهش در قالب پژوهانه به شماره ۱۸۲۸۷/۰۲/۳/۹۹ و پرسنل آزمایشگاه موتور پژوهشکده انرژی‌های تجدیدپذیر دانشگاه تربیت مدرس، مدیریت محترم شرکت دانش بنیان نانو نوین شهر ساری و دکتر حکمت ربانی دانشیار گروه بیوسیستم دانشگاه رازی کرمانشاه تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1. Arul Mozhi Selvan, V., Anand, R. B., & Udayakumar, M. (2014). Effect of Cerium Oxide Nanoparticles and Carbon Nanotubes as fuel-borne additives in Diesterol blends on the performance, combustion and emission characteristics of a variable compression ratio engine. *Fuel*, *130*, 160-167. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.04.034
2. Chandrasekaran, V., Arthanarisamy, M., Nachiappan, P., Dhanakotti, S., & Moorthy, B. (2016). The role of nano additives for biodiesel and diesel blended transportation fuels. Transportation Research Part D: *Transport and Environment*, *46*, 145-156. https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.03.015
3. Devaraj, A., Arul Prakasajothi, M., & Rajesh, D. A. P. (2017). Review of Nanocatalyst as Additive Fuel in Diesel Engine. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, *10*(1), 270-274.
4. Devi, V. R. (2018). Experimental Investigations on CI Diesel Engine With Varied Combustion Chamber Designs (HCC and SDCC) Using Neem Biodiesel and Calcium Carbonate (Caco3) Nano Fluid Additive. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, *5*(3), 2167-2172.
5. Foster, E., Contestabile, M., Blazquez, J., Manzano, B., Workman, M., & Shah, N. (2017). The unstudied barriers to widespread renewable energy deployment: Fossil fuel price responses. *Energy Policy*, *103*, 258-264. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.12.050
6. Geng, P., Cao, E., Tan, Q., & Wei, L. (2017). Effects of alternative fuels on the combustion characteristics and emission products from diesel engines: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *71*, 523-534. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.080
7. Ghafoori, M., Ghobadian, B., Najafi, G., Layeghi, M., Rashidi, A., & Mamat, R. (2015). Effect of nano-particles on the performance and emission of a diesel engine using biodiesel-diesel blend. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, *12*, 3097-3108. https://doi.org/10.15282/ijame.12.2015.23.0258
8. Heidari-Maleni, A., Gundoshmian, T. M., Karimi, B., Jahanbakhshi, A., & Ghobadian, B. (2020). A novel fuel based on biocompatible nanoparticles and ethanol-biodiesel blends to improve diesel engines performance and reduce exhaust emissions. *Fuel*, *276*, 118079. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118079
9. Hoseini, S., Najafi, G., Ghobadian, B., Yusaf, T. F., & Ebadi, M.-T. (2018). The Effects of Camelina “Soheil” as a Novel Biodiesel Fuel on the Performance and Emission Characteristics of Diesel Engine. *Applied Sciences*, *8*, 1010. https://doi.org/10.3390/app8061010

10. Hoseini, S. S., Najafi, G., Ghobadian, B., Ebadi, M. T., Mamat, R., & Yusaf, T. (2020). Biodiesels from three feedstock: The effect of graphene oxide (GO) nanoparticles diesel engine parameters fuelled with biodiesel. *Renewable Energy*, *145*, 190-201. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.020
11. Hosseini, S. H., Taghizadehalisaraei, A., Ghobadian, B., & Abbaszadeh mayvan, A. (2017). Modeling the effects of carbon nanotubes added to diesel-biodiesel fuel blends on performance and emissions of a diesel engine using artificial neural network. *Fuel and Combustion*, *10*(2 #A00254), 1-16.
12. Joshua, M, & Gowdham, D. (2016). Emission characteristics of cerium oxide nanoparticle blended emulsified biodiesel. *International Journal of Advances in Science Engineering and Technology*, *4*(2), 155-158.
13. Klemm, D., Kramer, F., Moritz, S., Lindström, T., Ankerfors, M., Gray, D., & Dorris, A. (2011). Nanocelluloses: A New Family of Nature-Based Materials. *Angewandte Chemie (International Ed. in English)*, *50*, 5438-5466. https://doi.org/10.1002/anie.201001273
14. Kord, B., & Roohani, M. (2016). Thermal properties and fire behavior of PLA nanocomposite films. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, *23*(supplement 2), 185-201.
15. Lima, M., & Borsali, R. (2004). Rodlike Cellulose Microcrystals: Structure, Properties, and Applications. *Macromolecular Rapid Communications*, *25*, 771-787. https://doi.org/10.1002/marc.200300268
16. Meng, M., & Niu, D. (2011). Modeling CO_2 emissions from fossil fuel combustion using the logistic equation. *Energy*, *36*(5), 3355-3359. https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.03.032
17. Mirbagheri, S. A., Safieddin Ardebili, S. M., & Kiani Deh Kiani, M. (2020). Modeling of the engine performance and exhaust emissions characteristics of a single-cylinder diesel using nano-biochar added into ethanol-biodiesel-diesel blends. *Fuel*, *278*, 118238. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118238
18. Mirzajanzadeh, M., Tabatabaei, M., Ardjmand, M., Rashidi, A., Ghobadian, B., Barkhi, M., & Pazouki, M. (2015). A novel soluble nano-catalysts in diesel–biodiesel fuel blends to improve diesel engines performance and reduce exhaust emissions. *Fuel*, *139*, 374-382. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.09.008
19. Naik, J. V., & Kumar, K. K. (2018). Performance and emission characteristics of diesel engines with Al_2O_3 and CuO nanoparticles as additives. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, *9*(2), 791-798.
20. Nair, J. N., Kaviti, A. K., & Daram, A. K. (2017). Analysis of performance and emission on compression ignition engine fuelled with blends of Neem biodiesel. *Egyptian Journal of Petroleum*, *26*(4), 927-931. https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2016.09.005
21. Ojala, J., Sirviö, J. A., & Liimatainen, H. (2016). Nanoparticle emulsifiers based on bifunctionalized cellulose nanocrystals as marine diesel oil–water emulsion stabilizers. *Chemical Engineering Journal*, *288*, 312-320. https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.10.113
22. Prasada Rao, K., Victor Babu, T., Anuradha, G., & Appa Rao, B. V. (2017). IDI diesel engine performance and exhaust emission analysis using biodiesel with an artificial neural network (ANN). *Egyptian Journal of Petroleum*, *26*(3), 593-600. https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2016.08.006
23. Ramesh, D. K., Dhananjaya Kumar, J. L., Hemanth Kumar, S. G., Namith, V., Basappa Jambagi, P., & Sharath, S. (2018). Study on effects of Alumina nanoparticles as additive with Poultry litter biodiesel on Performance, Combustion and Emission characteristic of Diesel engine. Materials Today: *Proceedings*, *5*(1), 1114-1120. https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2017.11.190
24. Sayin, C. (2010). Engine performance and exhaust gas emissions of methanol and ethanol–diesel blends. *Fuel*, *89*(11), 3410-3415. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.02.017
25. Singh, G., & Sharma, S. G. (2015). *Effects of cerium oxide on the performance and emission characteristic of variable compression ratio ignition engine using Biodiesel from waste mustard oil*. Thapar University, Patiala. India.
26. Tan, P.-Q., Hu, Z.-Y., & Lou, D.-M. (2009). Regulated and unregulated emissions from a light-duty diesel engine with different sulfur content fuels. *Fuel*, *88*(6), 1086-1091. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.11.031